



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Vandføringsmålinger i afløbssystemer

Larsen, Torben

Publication date:
1990

Document Version
Accepteret manuscript, peer-review version

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Larsen, T. (1990). *Vandføringsmålinger i afløbssystemer*. (s. 1-5).

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Vandføringsmålinger i afløbssystemer

af

Torben Larsen

Instituttet for Vand, Jord og Miljøteknik

Aalborg Universitetscenter

INDLEDNING

Dette indlæg skal betragtes som et resumé af det foredrag, som undertegnede gav ved mødet i Nyborg den 15. november 1990.

Vandføringsmålinger kan have forskellige formål. Der foretages f.eks. målinger med henblik på en nøjere bestemmelse af regnvandsafstrømningen, og samtidigt foretages ofte også nedbørsmåling. I andre situationer er det ikke selve vandføringsbestemmelsen der er afgørende, men transporten af forurenende stoffer, og i dette tilfælde foretages samtidigt prøvetagning for senere koncentrationsbestemmelse. En tredje anvendelse af vandføringsmåling kan være bestemmelse af infiltrationsvandføring, hvor det ofte også vil være relevant samtidigt at fortage pejling af grundvandsspejlet.

I fremtiden skal vi formentlig også etablere permanente vandføringsmålestationer i de større afløbssystemer med henblik en on-line styring af overløbsmængder og tilførsler til renseanlæg.

Kravene til vandføringsmålingernes nøjagtighed og tidsopløsning afhænger naturligvis af opgaven og af den nøjagtighed, hvormed de tilhørende målinger udføres. I det følgende omtales kun selve vandføringsmålingen ud fra en hydraulisk synsvinkel, dvs. hvorledes og med hvilken nøjagtighed den aktuelle vandføring bestemmes. Edb-styring, datalogning osv. af målingerne vil ikke blive omtalt.

VANDFØRINGBESTEMMELSE UD FRA HØJDEMÅLING

Vandføringsmåling baseret på højdemåling er formentlig den mest anvendte metode til bestemmelse af afstrømning i vandløb, kanaler og afløbssystemer. Ud fra en hydraulisk synsvinkel kan to forskellige principper anvendes, som tager udgangspunkt i de hydrauliske grundbegreber henholdsvis *naturlig dybde* og *kritisk dybde*.

Naturlig dybde

I en lang lige rørstrækning vil strømningen med tilnærmelse i den midterste del indstille sig på en ligevægtssituation, hvor energitabet er lig tyngdekraftens arbejde. Denne strømning betegnes *naturlig dybde* og vandføringen Q kan bestemmes f.eks. af Manning-formlen

$$Q = A M R^{2/3} I^{1/2} \quad [m^3/sec]$$

hvor

A er tværsnitsarealet $[m^2]$

M er Manning-tallet $[m^{1/3}/s]$

R er hydraulisk radius $[m]$

I er faldet på energilinen her lig bundliniefaldet $[-]$

På målestedet må vanddybden måles f.eks. med ultralydsmålere eller tryktransducer. For den aktuelle afløbsledning kan tværsnitsarealet og hydraulisk radius beregnes som en funktion af vanddybden. Bundliniefaldet kendes eller må opmåles. Tilbage er spørgsmålet om Manning-tallet. Det kan i almindelighed ikke anbefales, at benytte en teoretisk værdi f.eks. fra rørkataloger eller håndbøger, da disse værdier kun gælder for helt nye rør og rent vand. Normalt er Manning-tallet noget mindre end det teoretiske på grund af sedimenter i bunden af ledningen, men der også eksempler på, at bl.a. betonrør er blevet mere glatte med tiden på grund af slid fra sandtransport. Det rigtige er derfor, at finde den aktuelle lednings Manning-tal ud fra en kalibrering i ledningen, hvor både vandføring og vanddybde måles.

Såfremt man udfører en rimelig kalibrering, f.eks. ved sporstof, må denne metode vurderes at være nøjagtig og pålidelig. Fejlen skønnes at kunne holdes under 10 til 15 %. Men det er naturligvis vigtigt at holde sig forudsætningerne klar og huske, at *naturlig dybde* kræver, at tværsnittet bl.a. ikke er under indflydelse af opstuvning nedstrøms fra.

Kritisk dybde

Kritisk dybde skabes i princippet ved en opstuvning eller indsnævring af strømningstværsnittet. Herved opnås, at der opstrøms for måletværsnittet bliver strømmende bevægelse (Froude tal < 1) og umiddelbart herefter strygende bevægelse (Froude tal > 1). I selve måletværsnittet bliver strømningen kritisk (Froude tal = 1) og der er derfor her en entydig sammenhæng mellem vandstanden opstrøms for måletværsnittet og vandføringen. Vandføringen bestemmes derfor ud fra målingen af denne vandstand.

Kritisk strømning kan skabes enten ved etablering af en overløbskant eller et målebygværk af venturikanaltypen (Parshall-rende, Palmer-Boulus-rende m.v.). I afløbssystemer har man normalt dårlige erfaringer med overløbskanter, fordi de stopper til og skaber opstuvning. Venturikanalbygværker har man generelt god erfaring med, men et sådanne bygværk stiller pladskrav, som i mange tilfælde kun kan tilfredstilles ved mindre ombygninger på afløbssystemet. I de fleste renseanlæg måles udløbsvandføringen med et sådant bygværk. For en venturikanal bestemmes vandføringen af følgende udtryk:

$$Q = C B h \sqrt{2 g h} \quad [m^3/sec]$$

hvor

C er en koefficient for bygværket [-]

B er bredden af det kritiske tværsnit [m]

h er vandspejlshøjden opstrøms bygværket målt fra bunden i det kritiske tværsnit [m]

g er tyngdens acceleration = 9.81 m/sec²

Såfremt man udfører målebygværket således, at dette er geometrisk ligedannet med et kalibreret bygværk, kræves ingen kalibrering. Fejlen skønnes at kunne holdes under 5 - 10 %, men bemærk at højden indgår i potensen 1.5, dvs. en usikkerhed på højdemålingen bliver forstærket ved omsætningen til vandføring.

Det er forfatterens synspunkt, at såfremt man ønsker en pålidelig langtidsmåling, vil etableringen af et sådant bygværk i de fleste tilfælde være den mest tilfredsstillende løsning.

VANDFØRINGSBESTEMMELSE UD FRA HASTIGHEDSMÅLING

Såfremt man provokerer strømningen til at foregå gennem et fuldtløbende tværsnit, kan man benytte en af de på markedet værende systemer til måling i lukkede rør. Disse er idag primært enten ultralydsmålere eller elektromagnetiske målere.

Nøjagtigheden og pålideligheden af disse målere er høj, og systemet har derfor med rette en

vis udbredelse bl.a. ved infiltrationsmålinger. Fejlen vil formentlig kunne holdes under 3 - 5 %. Når det gælder måling af regnvandsafstrømning er metoden normalt mindre egnet, fordi den giver anledning til opstuvning i systemet og fordi der er mulighed for tilstopning.

VANDFØRINGSBESTEMMELSE UD FRA HØJDE- OG HASTIGHEDSMÅLING

På markedet findes idag flere kommercielle systemer til vandførmåling i afløbssystemer baseret på en kombination af vanddybde- og hastighedsmåling. Målingen foretages med en transducer, som kan registrere begge parametre og som placeres på bunden af afløbsledningen. Vanddybden registreres normalt med en tryktransducer. Hastigheden måles med en ultralydsmåler efter back-scatter princippet, dvs. ultralydsmåleren udsender et lydsignal, som efter refleksion på partikler i væsken registreres af transduceren igen. Doblereffekten på det reflekterede lydsignal grund af partiklernes hastighed registreres og giver efter en omsætning væskehastigheden.

Herefter bestemmes vandføringen ud fra produktet af tværsnitsareal og hastighed. Tværsnitsarealet beregnes på grundlag af vanddybdemålingen. Men vanddybdemåling med tryktransducer er ikke fejlfri, fordi tryktransduceren uundgåeligt vil registrere en del af strømningens hastighedshøjde (dynamiske tryk). Flere af de tilgængelige systemer indeholder korrektion herfor. Hastighedsmålingen vil normalt ikke give middelhastigheden over hele strømningstværsnittet. Målerne vil derfor også være korrigeret herfor. Det fremgår imidlertid ikke fuldt ud af dokumentationen for målerne, hvorledes disse korrektioner udføres, hvilket kan skabe usikkerhed hos brugerne, når de konkrete målesteders egnethed skal vurderes. Såfremt målerne anvendes på korrekt, har de imidlertid en god nøjagtighed med en fejl, som er ca. 10 %.

Selve transducerens størrelse sætter visse begrænsninger for målernes anvendelse. Ved vanddybder på få centimeter udfylder transduceren en stor del af strømningstværsnittet og målingen bliver unøjagtig. Ved store strømningshastigheder, eller rettere ved strømning med store Froude tal (dvs. større end én) vil der normalt være bølger på vandoverfladen, som vil forstyrre målingen og give fejl. I begge tilfælde må fejlene betragtes som værende systematiske fejl, som ikke midles ud ved gentagne målinger.

Umiddelbart skulle disse systemer, trods ovennævnte bemærkninger, være perfekte til vandførmåling i afløbssystemer, fordi de ikke er følsomme over for opstuvninger o.l. Men alligevel har nogle brugere dårlige erfaringer med disse instrumenter. Dette skyldes imidlertid i almindelighed ikke fejl ved selve instrumenterne, men enten, at de dækkes med aflejringer og sedimenter eller at de bliver benyttet, hvor de hydrauliske forudsætninger for deres anvendelse ikke er tilstede. Man kan bl.a. ikke forvente, at målerne umiddelbart vil kunne anvendes til infiltrationsmåling med meget små vandføringer og tilhørende små vanddybder eller til regnvandsafstrømning i meget stejle ledninger. Et vist hydraulisk og måleteknisk kendskab er nødvendigt fra brugerens side.

Såfremt denne type målere ønskes anvendt på lokaliteter, som ikke kan betegnes som velegnede, vil man ofte ved en kalibrering på stedet kunne få måleren til at give rimelige resultater. Den bedst egnede metode hertil er ganske simpelt, at pumpe en kendt vandføring forbi målestedet. Men også f.eks. anvendelse af sporstof under regn vil kunne benyttes.

VANDFØRINGSBESTEMMELSE UD FRA SPORTSTOFMÅLING

Sporstofmålinger baserer sig på at koncentrationen af et tilsat sporstof kan registreres. Som sporstof i afløbssystemer kan forskellige stoffer anvendes.

Radioaktive isotoper

Her har bl.a. isotopen Brom-82 været anvendt af Isotopcentralen. Koncentrationen kan måles in-situ. Disse sporstoffer giver formentlig de mest nøjagtige resultater.

Flouroserende organiske farvestoffer

Rodamin B og Rodamin W har været anvendt af bl.a. AUC. Koncentrationen kan måles in-situ.

Uorganiske salte

LiCl (Lithiumclorid) har været anvendt af WRC (Water Research Center, England). Der udtages prøver, som analyseres i laboratoriet. Desuden har almindeligt NaCl (kogesalt) også været anvendt i en række tilfælde. Koncentrationen kan her måles in-situ som ledningsevne.

Vandføringsmåling med sporstof kan udføres efter forskellige principper, som i nogen grad må vælges efter det anvendte sporstofs egenskaber. I det følgende skal de tre vigtigste nævnes.

Fortyndingsmetoden

Denne metode baserer på en konstant dosering af sporstoffet pr. tidsenhed og en kontinuert måling af sporstofkoncentrationen i et snit nedstrøms herfor. Antages, at stoftransporten gennem måletværsnittet er lig doseringen pr. tidsenhed, kan vandføringen bestemmes som doseringen divideret med koncentrationen. Nøjagtigheden afhænger af eventuel 'støj' fra baggrundskoncentrationen i spildevandet, men fejlen kan i praksis holdes under ca. 5 %.

Impulsmetoden

Denne metode baserer sig på en momentan dosering af en veldefineret mængde sporstof. Herefter registreres tidsforløbet af koncentrationen i måletværsnittet nedstrøms herfor og dette integreres op som funktion af tiden. Som før bestemmes vandføringen ud fra sporstoffets kontinuitetsligning og denne bliver den doserede mængde divideret med integralet af det målte koncentrationsforløb. Fejlen kan som før med lidt omhyggelighed holdes under 5 %.

Hastighedsmetoden

Denne metode består i at dosere en tilfældig, men målelig, mængde sporstof, og derefter måle tidsforsinkelsen af sporstoffets passage mellem to måletværsnit. Herved bestemmes middelhastigheden over strækningen. Måles vanddybden og beregnes heraf tværnsnitsarealet kan vandføringen nu beregnes. Sporstoffet behøver nødvendigvis ikke at være konservativt. Metodens nøjagtighed afhænger meget af om en passende målestrækning med nogenlunde konstant vanddybde kan findes. Men under de rigtige omstændigheder er fejlen lille, måske ned til 5 - 10 %.

ANVENDELSE AF VANDFØRINGSMÅLINGER I FORBINDELSE MED REGNAFSTRØMNING

Formålet med målinger af regnafstrømningen i et urbant opland vil ofte være at skabe bedre forudsætninger for edb-beregninger med f.eks. MOUSE og SAMBA modellerne således, at afstrømningsvolumener og afstrømningsforløbet bliver bedst muligt beskrevet.

Bestemmelse af et oplands afstrømningsvolumener

For et givet urbant opland er det vigtigste naturligvis at holde styr på oplandets totale vandbalance. Det drejer sig her om bestemmelse af oplandets volumenafløbskoefficient og initialtab, eller populært sagt, at bestemme det nettoareal, som multipliceret sammen med den målte nedbør giver den målte afstrømmede vandmængde. Dette nettoareal er som bekendt 10 - 20 % mindre end den teoretisk bestemt værdi ud fra opgørelse af de befæstede arealer. Man udtrykker dette ved korrigere den teoretiske værdi med en *hydrologisk korrektionsfaktor*, som har størrelsen 0.8 - 0.9 i praksis.

Vandføringsmålinger i afløbssystemet kombineret med nedbørsmålinger kan netop have til hovedformål at bestemme et oplands *hydrologiske korrektionsfaktor* og tilhørende initialtab til senere brug for edb-beregninger. Dette gøres ved at foretage lineær regression mellem

afstrømningsvoluminer og nedbør. I princippet forudsætter en god lineær regression at talsættene af henholdsvis afstrømningsmængder og nedbørmængder er normalfordelte. Man bør derfor passe på, at regressionen ikke bliver forstyrret af et stort antal små og 'irrelevante' måleværdier. Den *hydrologisk korrektionsfaktor* vil iøvrigt også indeholde målefejl fra vandførings- og nedbørsmålingen.

Afstrømningens tidforløb

Når man efter, som skitseret ovenstående, har fået beskrevet oplandets totale vandbalance, vil det næste være at forsøge, at beskrive afstrømningens tidsforløb korrekt. Dette afhænger for de små oplande af afstrømningshastigheden på overfladerne og for de store oplande af afstrømningshastigheden i ledningsnettet. Man skal nu finde en metode til at tilpasse edb-beregninger til målingerne på dette punkt. Som tidligere omtalt, kan friktionen i rørledningerne ofte ligge betydeligt fra de teoretiske værdier. Derfor bruger man normalt friktionen, dvs. ruheden eller Manning-tallet, som den faktor der reguleres på, når tilpasning skal finde sted. Mange bliver overaskede over, at rørmotstanden i praksis er så stor som den er, men det er næsten altid målingerne der er rigtige og de teoretiske værdier der er for små.

AKTIVITETER PÅ AALBORG UNIVERSITETSCENTER

I efteråret 1990 påbegyndtes et afgangsprøveprojekt på akademiingeniøruddannelsens speciale i miljøteknik vedrørende vandføringsmålinger i afløbssystemer med højde/hastighedsmålere. Projektet udføres af stud.ing Peter Moosdorf og stud.ing Kim Andersen og forventes afsluttet i marts 1991. I forbindelse med projektet er opbygget en prøvestand i det hydrauliske laboratorium med en 12 m lang ø 40 cm afløbsledning, hvori vandføring og vandstand kan varieres uafhængigt af hinanden.

Til projektet har vi velvilligt haft målere fra Struers, Detectronic og Q-Instruments til rådighed. Formålet med projektet har været at bestemme målerens generelle nøjagtighed og ydergrænser, herunder ikke mindst i det lave område med små hastigheder og vanddybder.

Desuden har projektet også omfattet feltmålinger i samarbejde med Nordjyllands Amts miljøkontor i det opland i Svenstrup syd for Aalborg. Dette opland er iblandt flere andre er blevet udpeget i forbindelse med vandmiljøplanen til at danne grundlag for vurderingen af de samlede stofudledninger fra overløbsbygværkerne i Danmark. Disse feltmålinger har blandt andet omfattet en in-situ kalibrering af en Struers-måler placeret i afløbssystemet. Dette blev foretaget med et transportabelt målebygværk, hvortil der oppumpedes vand fra en nærliggende bæk.

Denne ledning ligger så stejlt, at der er tale om strygende bevægelse (Froude tal > 1). Kalibreringen viste da også, at målerens placering var afgørende for målenøjagtigheden, idet en uhensigtsmæssig placering, hvorved der dannedes stående bølger hen over transduceren, kunne få denne til at vise ca 100 % for meget. En bedre placering reducerede afvigelsen til ca 10 %.

Projektrapporten vil formentlig være tilgængelig medio marts 1991 og forventes at indeholde en række nyttige oplysninger. Dog vil rapporten være forfatterens dokumentation for studieindsatsen i afgangsprøvet og repræsenterer nødvendigvis ikke undertegnedes eller AUC's synspunkter.